

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-289909

(43)公開日 平成6年(1994)10月18日

| (51)Int.Cl. <sup>5</sup> | 識別記号 | 序内整理番号    | F I | 技術表示箇所 |
|--------------------------|------|-----------|-----|--------|
| G 05 B 13/04             |      | 9131-3H   |     |        |
| 11/32                    | F    | 7531-3H   |     |        |
| 11/36                    | 505  | A 7531-3H |     |        |
| 13/02                    | N    | 9131-3H   |     |        |
|                          | B    | 9131-3H   |     |        |

審査請求 未請求 請求項の数 4 FD (全 11 頁)

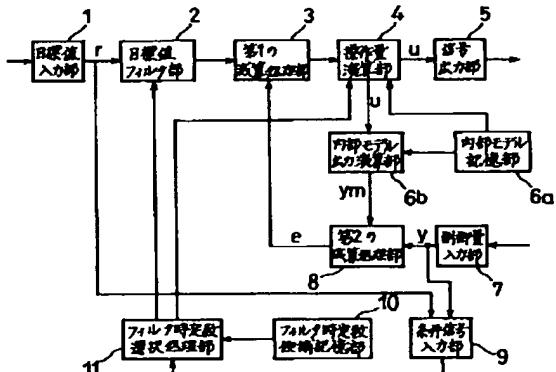
|                           |  |
|---------------------------|--|
| (21)出願番号<br>特願平5-101827   | (71)出願人<br>山武ハネウエル株式会社<br>東京都渋谷区渋谷2丁目12番19号                |
| (22)出願日<br>平成5年(1993)4月6日 | (72)発明者<br>田中 雅人<br>東京都大田区西六郷四丁目28番1号 山武<br>ハネウエル株式会社蒲田工場内 |
|                           | (72)発明者<br>三浦 裕之<br>東京都大田区西六郷四丁目28番1号 山武<br>ハネウエル株式会社蒲田工場内 |
|                           | (74)代理人<br>弁理士 山川 政樹                                       |

(54)【発明の名称】 IMCコントローラ

(57)【要約】

【目的】 制御対象プロセスにヒステリシス、非線形性、又は時変性が存在しても精度と信頼性の高い制御を行うことができるIMCコントローラを提供する。

【構成】 内部モデル記憶部6aには制御対象プロセスを数式表現した内部モデルのパラメータが記憶されている。第1の時定数、第2の時定数でそれぞれ目標値フィルタ部2、操作量演算部4内部の目標値・外乱フィルタ部の特性が決定される。そして、フィルタ時定数選択処理部11によってフィルタ時定数候補記憶部10に記憶されたフィルタ時定数の候補中から制御条件に応じた第1の時定数及び第2の時定数が選択されて出力される。よって、制御条件に応じて目標値フィルタ部2及び操作量演算部4内部の目標値・外乱フィルタ部の特性が変更される。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 制御の目標値から制御対象プロセスに出力する操作量を演算し、制御対象プロセスを数式表現した内部モデルにて制御結果である制御対象プロセスの制御量に相当する参照制御量を演算し、制御量と参照制御量との差をフィードバックすることにより制御を行うIMCコントローラにおいて、  
入力された目標値を第1の時定数によって決定される特性で出力する目標値フィルタ部と、

前記目標値フィルタ部の出力からフィードバック量を減算する第1の減算処理部と、

前記第1の減算処理部の出力を第2の時定数によって決定される特性で出力する目標値・外乱フィルタ部と、内部モデルのパラメータに基づいて前記目標値・外乱フィルタ部の出力から操作量を演算する操作部とからなる操作量演算部と、

前記内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部と、

前記内部モデルのパラメータに基づいて前記操作量演算部から出力された操作量から参照制御量を演算する内部モデル出力演算部と、

制御対象プロセスの制御量から前記内部モデル出力演算部から出力された参照制御量を減算して前記フィードバック量を出力する第2の減算処理部と、

動作時の制御条件を制御条件信号として出力する条件信号入力部と、

前記制御条件の変化による制御対象プロセスの特性の変化を想定した第1の時定数及び第2の時定数をフィルタ時定数の候補として記憶するフィルタ時定数候補記憶部と、

前記条件信号入力部から出力された制御条件信号に基づいて、前記フィルタ時定数候補記憶部に記憶された候補中から制御条件に応じた前記第1の時定数及び第2の時定数を選択して出力するフィルタ時定数選択処理部とを有することを特徴とするIMCコントローラ。

【請求項2】 制御の目標値から制御対象プロセスに出力する操作量を演算し、制御対象プロセスを数式表現した内部モデルにて制御結果である制御対象プロセスの制御量に相当する参照制御量を演算し、制御量と参照制御量との差をフィードバックすることにより制御を行うIMCコントローラにおいて、

入力された目標値を第1の時定数によって決定される特性で出力する目標値フィルタ部と、

前記目標値フィルタ部の出力からフィードバック量を減算する第1の減算処理部と、

前記第1の減算処理部の出力を第2の時定数によって決定される特性で出力する目標値・外乱フィルタ部と、内部モデルのパラメータに基づいて前記目標値・外乱フィルタ部の出力から操作量を演算する操作部とからなる操作量演算部と、

前記内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部と、  
前記内部モデルのパラメータに基づいて前記操作量演算部から出力された操作量から参照制御量を演算する内部モデル出力演算部と、

10

20

30

40

50

2

前記内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部と、

前記内部モデルのパラメータに基づいて前記操作量演算部から出力された操作量から参照制御量を演算する内部モデル出力演算部と、

制御対象プロセスの制御量から前記内部モデル出力演算部から出力された参照制御量を減算して前記フィードバック量を出力する第2の減算処理部と、

動作時の制御条件を制御条件信号として出力する条件信号入力部と、

前記制御条件の変化による制御対象プロセスの特性の変化を想定した代表的な第1の時定数及び第2の時定数を記憶するフィルタ時定数代表記憶部と、

前記条件信号入力部から出力された制御条件信号とフィルタ時定数代表記憶部に記憶された代表的な第1の時定数及び第2の時定数に基づいて、制御条件に応じた前記第1の時定数及び第2の時定数を推定して出力するフィルタ時定数推定部とを有することを特徴とするIMCコントローラ。

【請求項3】 請求項2記載のIMCコントローラにおいて、

フィルタ時定数推定部の代わりに、フィルタ時定数代表記憶部に記憶された代表的な第1の時定数及び第2の時定数に基づいてファジィ推論におけるメンバシップ関数を設定し、このメンバシップ関数と条件信号入力部から出力された制御条件信号に基づいて制御条件に応じた第1の時定数及び第2の時定数を推定して出力するフィルタ時定数推定処理部を有することを特徴とするIMCコントローラ。

【請求項4】 制御の目標値から制御対象プロセスに出力する操作量を演算し、制御対象プロセスを数式表現した内部モデルにて制御結果である制御対象プロセスの制御量に相当する参照制御量を演算し、制御量と参照制御量との差をフィードバックすることにより制御を行うIMCコントローラにおいて、

入力された目標値を第1の時定数によって決定される特性で出力する目標値フィルタ部と、

前記目標値フィルタ部の出力からフィードバック量を減算する第1の減算処理部と、

前記第1の減算処理部の出力を第2の時定数によって決定される特性で出力する目標値・外乱フィルタ部と、内部モデルのパラメータに基づいて前記目標値・外乱フィルタ部の出力から操作量を演算する操作部とからなる操作量演算部と、

前記内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部と、

前記内部モデルのパラメータに基づいて前記操作量演算部から出力された操作量から参照制御量を演算する内部モデル出力演算部と、

制御対象プロセスの制御量から前記内部モデル出力演算

3

部から出力された参照制御量を減算して前記フィードバック量を出力する第2の減算処理部と、動作時の制御条件を制御条件信号として出力する条件信号入力部と、前記条件信号入力部から出力された制御条件信号に基づいて制御条件に応じた前記第1の時定数及び第2の時定数を算出して出力するフィルタ時定数算出処理部とを有することを特徴とするIMCコントローラ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明はIMC(Internal Model Control)構造の制御アルゴリズムを用いたコントローラに関し、特に制御条件に応じてフィルタの時定数を変更することができるコントローラに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来より汎用コントローラとしてPID制御を用いたものが一般に使用されている。PIDコントローラは、PID動作を行う操作部によって、目標値(例えばこのコントローラが室内空調機であれば室内温度設定値に相当する)とフィードバック量との差からこのコントローラの出力である操作量(室内空調機から出る温風又は冷風の温度)を演算し、この操作量を制御対象プロセス(室内環境)へ出力してその制御結果である制御量(室内温度)をフィードバック量として戻すフィードバック制御系である。しかし、PIDコントローラには、操作量が出来てから制御対象プロセスにおける制御量に変化が現れるまでの時間(例えば室内空調機ならば温風が出てから室内温度が上昇するまでの時間)であるむだ時間が大きい場合の対応が難しいという問題点があった。

【0003】そこで、制御対象プロセスを数式表現した内部モデルを組み込んで制御を行うIMC構造の制御アルゴリズムを用いたコントローラが提案されている。図7はこのIMCコントローラを用いた制御系のブロック線図である。43は目標値から後述するフィードバック量を減算する第1の減算処理部、42は第1の減算処理\*

$$y = F \times G_p \times G_c \times r / \{1 + F \times G_c \times (G_p - G_m)\} \\ + (1 - F \times G_m \times G_c) \times d / \{1 + F \times G_c \times (G_p - G_m)\}$$

... (1)

ここで、内部モデル46の伝達関数Gmが制御対象プロセス50の伝達関数Gpに等しく、操作部44の伝達関数Gcが内部モデル46の伝達関数の逆数( $1/G_m = \infty$ )

$$y = F \times r + (1 - F) \times d$$

【0007】更に、目標値rに急激な変化がない理想的な条件であればフィルタ部42は不要となり、F=1にできるので、制御量yは目標値rと等しくなり( $y = r$ )、外乱dの影響が全くない制御を実現できることになる。また、図7の制御系で外乱dに着目すると、制御対象プロセス50と内部モデル46に大きなむだ時間があったとしても、両者は操作量uに対して同じ特性を示す。

4

\*部43の出力の変化が急激に伝わらないようにするためにフィルタ部、44はフィルタ部42の出力に基づいて操作量を演算する操作部、46は制御対象プロセスを数式で近似したものであって制御対象プロセスの制御量に相当する参照制御量を出力する内部モデル、48は制御量から内部モデル46からの参照制御量を減算してフィードバック量を出力する第2の減算処理部、50は制御対象プロセスである。また、F、Gc、Gm、Gpはそれぞれフィルタ部42、操作部44、内部モデル46、制御対象プロセス50の伝達関数、rは目標値、uは操作量、dは例えば室内環境に対する室外環境等に相当する外乱、yは制御量、ymは参照制御量、eはフィードバック量である。

【0004】次に、このようなIMCコントローラの動作を説明する。まず、第1の減算処理部43にて目標値rからフィードバック量eが減算され、この結果がフィルタ部42に出力される。次に、操作部44にてフィルタ部42の出力から操作量uが演算され、制御対象プロセス50とコントローラの内部モデル46へ出力される。そして、第2の減算処理部48にて制御対象プロセス50の制御量yから制御対象プロセス50の近似的な動作をする内部モデル46からの参照制御量ymが減算され、この結果がフィードバック量eとして第1の減算処理部43へフィードバックされるフィードバック制御系が構成されている。

【0005】このようなIMCコントローラの内部モデル46は、制御対象プロセス50と全く同一になるよう数式表現されるのが理想的であり、通常、制御対象プロセス50をゲイン、むだ時間、及び時定数というパラメータからなる特性を有するものとして数式表現する。また、操作部44は、内部モデル46の伝達関数の逆特性( $1/G_m$ )になるのが理想的であるが、内部モデル46にあるむだ時間の要素については逆数化は不可能なので、通常はむだ時間の要素は無視する。

【0006】よって、制御量yは、このような構成により目標値r、外乱dから次式にて求めることができる。

40※ $1/G_p$ に等しい理想的な状態を仮定すると、式(1)は次式のようになる。

... (2)

★すので、第2の減算処理部48の出力であるフィードバック量eは外乱dのみとなり、外乱dを抑制できることが分かる。

【0008】このようなIMCコントローラでは、通常、制御対象プロセス50と内部モデル46の誤差が大きくなったときの安定性を示すロバスト安定性等の設計条件に基づいて1種類のフィルタ部42が設計される。

ところが、制御対象プロセス50には、例えば室外温度が30°Cで室内温度を30°Cから25°Cに下げるときと20°Cから25°Cに上げるときでは室内温度の変化の仕方が異なる、すなわち制御量の下降時と上昇時で特性が異なるヒステリシスが存在する場合がある。また、室外温度が30°Cで室内温度を30°Cから25°Cに下げるときと25°Cから20°Cに下げるときのように制御条件に依存してゲインや時定数が変化する非線形性が存在する場合もあり、朝と夜で異なる室外温度に対して室内温度を制御するときのように時間の経過に依存してゲインや時定数が変化する時変性が存在する場合もある。

【0009】このように制御対象プロセス50にヒステリシス、非線形性、又は時変性が存在する場合は、制御条件の変化によって制御対象プロセス50の特性が変化するので、内部モデル46に制御対象プロセス50に対する事実上のモデル同定誤差が生じてこのコントローラのロバスト安定性に変化が生じる。また、上記の場合、内部モデル46の事実上のモデル同定誤差を想定してフィルタ部42を設計する方法があるが、この制御対象プロセス50の特性変化に基づくモデル同定誤差を考慮すると、フィルタ部42の時定数は極端に大きなものとなる。

#### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】従来のIMCコントローラは以上のように構成されているので、制御対象プロセスにヒステリシス、非線形性、又は時変性が存在する場合はこのコントローラのロバスト安定性に変化が生じ、そのロバスト安定性が不十分になると制御が不安定になるという問題点があった。また、上記のような内部モデルの事実上のモデル同定誤差を想定して設計するとフィルタ部の時定数が極端に大きくなり、目標値追従性が悪くなつて実用上の支障が生じるという問題点があった。本発明は、上記課題を解決するために、制御対象プロセスにヒステリシス、非線形性、又は時変性が存在しても精度と信頼性の高い制御を行うことができるIMCコントローラを提供することを目的とする。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、入力された目標値を第1の時定数によって決定される特性で出力する目標値フィルタ部と、目標値フィルタ部の出力からフィードバック量を減算する第1の減算処理部と、第1の減算処理部の出力を第2の時定数によって決定される特性で出力する目標値・外乱フィルタ部と、内部モデルのパラメータに基づいて目標値・外乱フィルタ部の出力から操作量を演算する操作部とからなる操作量演算部と、内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部と、内部モデルのパラメータに基づいて操作量演算部から出力された操作量から参照制御量を演算する内部モデル出力演算部と、制御対象プロセスの制御量から内部モデル出力演算部から出力された参照制御量を減算してフィード

10

ドバック量を出力する第2の減算処理部と、動作時の制御条件を制御条件信号として出力する条件信号入力部と、制御条件の変化による制御対象プロセスの特性の変化を想定した第1の時定数及び第2の時定数をフィルタ時定数の候補として記憶するフィルタ時定数候補記憶部と、条件信号入力部から出力された制御条件信号に基づいてフィルタ時定数候補記憶部に記憶された候補中から制御条件に応じた第1の時定数及び第2の時定数を選択して出力するフィルタ時定数選択処理部とを有するものである。

20

【0012】また、入力された目標値を第1の時定数によって決定される特性で出力する目標値フィルタ部と、目標値フィルタ部の出力からフィードバック量を減算する第1の減算処理部と、第1の減算処理部の出力を第2の時定数によって決定される特性で出力する目標値・外乱フィルタ部と、内部モデルのパラメータに基づいて目標値・外乱フィルタ部の出力から操作量を演算する操作部とからなる操作量演算部と、内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部と、内部モデルのパラメータに基づいて操作量演算部から出力された操作量から参照制御量を減算してフィードバック量を出力する第2の減算処理部と、動作時の制御条件を制御条件信号として出力する条件信号入力部と、制御条件の変化による制御対象プロセスの特性の変化を想定した代表的な第1の時定数及び第2の時定数を記憶するフィルタ時定数代表記憶部と、条件信号入力部から出力された制御条件信号とフィルタ時定数代表記憶部に記憶された代表的な第1の時定数及び第2の時定数に基づいて、制御条件に応じた第1の時定数及び第2の時定数を推定して出力するフィルタ時定数推定部とを有するものである。

30

【0013】また、フィルタ時定数推定部の代わりに、フィルタ時定数代表記憶部に記憶された代表的な第1の時定数及び第2の時定数に基づいてファジィ推論におけるメンバシップ関数を設定し、このメンバシップ関数と条件信号入力部から出力された制御条件信号に基づいて制御条件に応じた第1の時定数及び第2の時定数を推定して出力するフィルタ時定数推定処理部を有するものである。

40

【0014】また、入力された目標値を第1の時定数によって決定される特性で出力する目標値フィルタ部と、目標値フィルタ部の出力からフィードバック量を減算する第1の減算処理部と、第1の減算処理部の出力を第2の時定数によって決定される特性で出力する目標値・外乱フィルタ部と、内部モデルのパラメータに基づいて目標値・外乱フィルタ部の出力から操作量を演算する操作部とからなる操作量演算部と、内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部と、内部モデルのパラメータに基づいて操作量演算部から出力された操作量から参照制御量を減算してフィード

50

タに基づいて操作量演算部から出力された操作量から参

照制御量を演算する内部モデル出力演算部と、制御対象プロセスの制御量から内部モデル出力演算部から出力された参照制御量を減算してフィードバック量を出力する第2の減算処理部と、動作時の制御条件を制御条件信号として出力する条件信号入力部と、条件信号入力部から出力された制御条件信号に基づいて制御条件に応じた第1の時定数及び第2の時定数を算出して出力するフィルタ時定数算出処理部とを有するものである。

## 【0015】

【作用】本発明によれば、目標値が第1の時定数によって特性が決まる目標値フィルタ部に入力され、第1の減算処理部にて目標値フィルタ部の出力からフィードバック量が減算される。この減算結果が第2の時定数によって特性が決まる操作量演算部内の目標値・外乱フィルタ部に出力され、操作部にてこの結果から操作量が演算され、制御対象プロセス及び内部モデル出力演算部へ出力される。次いで、第2の減算処理部にて制御対象プロセスの制御量から内部モデル出力演算部からの参照制御量が減算され、この結果がフィードバック量として第1の減算処理部へフィードバックされるフィードバック制御系が構成されている。そして、フィルタ時定数選択処理部によってフィルタ時定数候補記憶部に記憶されたフィルタ時定数の候補中から制御条件に応じた第1の時定数及び第2の時定数が選択されて出力されることにより、目標値フィルタ部及び目標値・外乱フィルタ部の特性が変更される。

【0016】また、フィルタ時定数推定部によってフィルタ時定数代表記憶部に記憶された代表的な第1の時定数及び第2の時定数に基づいて制御条件に応じた第1の時定数及び第2の時定数が推定されて出力される。

【0017】また、フィルタ時定数推定処理部によって、フィルタ時定数代表記憶部に記憶された代表的な第1の時定数及び第2の時定数に基づいてファジィ推論におけるメンバシップ関数が設定され、制御条件に応じた第1の時定数及び第2の時定数が推定されて出力される。

【0018】また、フィルタ時定数算出処理部によって制御条件に応じた第1の時定数及び第2の時定数が算出されて出力される。

## 【0019】

【実施例】図1は本発明の1実施例を示すIMCコントローラのブロック図、図2はこのIMCコントローラを用いた制御系のブロック線図である。図1において、1は図示しないオペレータによって設定された目標値 $r$ をこのコントローラに入力する目標値入力部、2は目標値入力部1からの目標値 $r$ を後述するフィルタ時定数選択処理部から出力された第1の時定数によって決定される特性で出力する目標値フィルタ部、3は目標値フィルタ部2の出力からフィードバック量 $e$ を減算する第1の減算処理部、4は後述するフィルタ時定数選択処理部から

出力された第2の時定数と後述する内部モデル記憶部から出力されたパラメータに基づいて第1の減算処理部3の出力から操作量 $u$ を演算する操作量演算部、5は操作量演算部4から出力された操作量 $u$ を図1では図示しない制御対象プロセスへ出力する信号出力部である。

【0020】また、6aはこのIMCコントローラの内部モデルのパラメータを記憶する内部モデル記憶部、6bは内部モデル記憶部6aから出力されたパラメータに基づいて内部モデルとしての演算を行い参照制御量 $y_m$ を出力する内部モデル出力演算部、7は制御対象プロセスからの制御量 $y$ をこのIMCコントローラに入力する制御量入力部、8は制御量入力部7から出力された制御量 $y$ から内部モデル出力演算部6bから出力された参照制御量 $y_m$ を減算してフィードバック量 $e$ を出力する第2の減算処理部である。

【0021】また、9は目標値入力部1から出力された目標値 $r$ と制御量入力部7から出力された制御量 $y$ に基づいて制御条件信号を出力する条件信号入力部、10は制御条件の変化による制御対象プロセス5の特性の変化を想定したフィルタ時定数の候補を記憶するフィルタ時定数候補記憶部である。また、11はフィルタ時定数選択処理部であり、条件信号入力部9から出力された制御条件信号に基づいてフィルタ時定数候補記憶部10に記憶された候補中から該当する候補を選択し、その第1の時定数、第2の時定数を出力することにより目標値フィルタ部2、操作量演算部4内の後述する目標値・外乱フィルタ部の特性を変更させる。

【0022】図2において、4aは操作量演算部4の内部にあって、第1の減算処理部3の出力をフィルタ時定数選択処理部11から出力された第2の時定数によって決定される特性で出力する目標値・外乱フィルタ部、4bは同じくその内部にあって目標値・外乱フィルタ部4aの出力から操作量 $u$ を演算する操作部、6は内部モデル記憶部6a及び内部モデル出力演算部6bからなる内部モデル、F1は目標値フィルタ部2の伝達関数、F2は目標値・外乱フィルタ部4aの伝達関数である。なお、図2は図1のIMCコントローラから条件信号入力部9、フィルタ時定数候補記憶部10、及びフィルタ時定数選択処理部11を除く本来のコントローラと、制御対象プロセス5及び外乱dとを含めて制御系として書き直したものである。

【0023】次に、このようなIMCコントローラの動作を説明する。目標値 $r$ は、このIMCコントローラのオペレータ等によって設定され、目標値入力部1を介して目標値フィルタ部2に入力される。後述するフィルタ時定数選択処理部11から出力された第1の時定数を $T_1$ とすると、目標値フィルタ部2は、目標値 $r$ をこの第1の時定数 $T_1$ によって次式のように決定される伝達関数F1の特性で出力する。

9

$$F_1 = 1 / (1 + T_1 \times s)$$

次に、第1の減算処理部3は、この目標値フィルタ部2の出力から第2の減算処理部8から出力されるフィードバック量eを減算する。

【0024】そして、フィルタ時定数選択処理部11か\*

$$F_2 = 1 / (1 + T_2 \times s)$$

【0025】また、同じくその内部の操作部4bは、目標値・外乱フィルタ部4aの出力から操作量uを演算するが、その伝達関数Gcは内部モデル記憶部6aから出※

$$G_c = (1 + T_m \times s) / K_m$$

ここで、Km、Tmはそれぞれ内部モデル6のゲイン、時定数である。

$$F_2 \times G_c = (1 + T_m \times s) / \{ K_m \times (1 + T_2 \times s) \} \dots (6)$$

このようにして、第1の減算処理部3の出力から操作量uが演算されて信号出力部5を介して制御対象プロセス50へ出力され、また内部モデル出力演算部6bへ出力される。

【0027】次に、内部モデル6は、内部モデル記憶部6aに記憶されたゲインKm、むだ時間Lm、及び時定☆

$$G_m = K_m \times e^{x p (-L_m \times s)} / (1 + T_m \times s) \dots (7)$$

【0028】次に、第2の減算処理部8は、制御量入力部7を介して入力された制御対象プロセス50からの制御量yから内部モデル出力演算部6bからの参照制御量ymを減算してフィードバック量eを出力する。そして、このフィードバック量eが上記のように第1の減算処理部3に入力される。これで、このIMCコントローラからなるフィードバック制御系が成立する。

【0029】このような制御系において、制御対象プロセス50に制御量yの下降時と上昇時で特性が異なるヒステリシスが存在するときは、条件信号入力部9、フィルタ時定数候補記憶部10、及びフィルタ時定数選択処理部11により以下の動作で目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性を変更することができる。

【0030】まず、条件信号入力部9は、目標値入力部1から出力された目標値rと制御量入力部7から出力された制御量yを比較する。そして、制御量yに対して目標値rが大きいときは、以後制御量yを目標値rに到達させる制御が行われることにより制御量yが上昇すると判断できるので、制御量yの変化が正であることを示す制御条件信号を出力する。また、制御量yに対して目標値rが小さいときは、以後制御量yが下降すると判断できるので、制御量yの変化が負であることを示す制御条件信号を出力する。

【0031】次に、フィルタ時定数候補記憶部10には、例えば2種類のフィルタ時定数の候補として、制御量yの上昇における制御対象プロセス50の特性の変化を想定した第1の時定数T1aが10秒、第2の時定数T2aが10秒というフィルタ時定数と、同じく制御量yの下降時の第1の時定数T1bが20秒、第2の時定数T2bが20秒である。

10

... (3)

\* ら出力された第2の時定数をT2とすると、操作量演算部4内の目標値・外乱フィルタ部4aは、第1の減算処理部3の出力をこの第2の時定数T2によって次式のように決定される伝達関数F2の特性で出力する。

... (4)

※ 力された内部モデル6のゲイン及び時定数により次式となり、図7の例と同様にむだ時間Lmの要素を除いた内部モデル6の伝達関数Gmの逆数となっている。

... (5)

★ 【0026】よって、操作量演算部4全体としての伝達関数は次式となる。

$$\star F_2 \times G_c = (1 + T_m \times s) / \{ K_m \times (1 + T_2 \times s) \} \dots (6)$$

☆ 数Tmからなるこれらのパラメータによって、制御対象プロセス50を1次遅れとむだ時間の要素を有するものとして数式表現したものであり、内部モデル出力演算部6bにて操作量演算部4から出力された操作量uから参考照制御量ymを演算する。その伝達関数Gmは次式となる。

$$G_m = K_m \times e^{x p (-L_m \times s)} / (1 + T_m \times s) \dots (7)$$

◆ 定数T2bが20秒というフィルタ時定数が記憶されている。この例では、制御量yの上昇時はモデル同定誤差が小さいとして目標値追従性を重視してフィルタ時定数を小さくし、制御量yの下降時はモデル同定誤差が大きいとしてロバスト安定性を確保するためにフィルタ時定数を大きくしている。

【0032】そして、フィルタ時定数選択処理部11は、制御量yの変化が正であることを示す制御条件信号が条件信号入力部9から出力されると、フィルタ時定数候補記憶部10に記憶された候補中から該当する候補として、制御量yの上昇におけるフィルタ時定数を選択してその第1の時定数T1a、第2の時定数T2aをそれぞれ目標値フィルタ部2、目標値・外乱フィルタ部4aに出力する。よって、目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性が決定される。

【0033】また、このような制御で制御量yが上昇した後に、例えば制御量yがいったんオーバーシュートして目標値rよりも大きくなると、今度は制御量yの変化が負であることを示す制御条件信号が条件信号入力部9から出力されて、フィルタ時定数候補記憶部10に記憶された制御量yの下降時用の第1の時定数T1b及び第2の時定数T2bが出力され、目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性が変更される。以後、制御中はこのような処理が常に行われる。

【0034】したがって、本実施例のIMCコントローラは、制御条件に応じて目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性を変更するので、フィルタ時定数を必要以上に大きくすることもなく、信頼性の高い制御を行うことができる。また、本実施例ではこのよ

30 30 候補記憶部10に記憶された候補中から該当する候補として、制御量yの上昇におけるフィルタ時定数を選択してその第1の時定数T1a、第2の時定数T2aをそれぞれ目標値フィルタ部2、目標値・外乱フィルタ部4aに出力する。よって、目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性が決定される。

40 40 40 【0033】また、このような制御で制御量yが上昇した後に、例えば制御量yがいったんオーバーシュートして目標値rよりも大きくなると、今度は制御量yの変化が負であることを示す制御条件信号が条件信号入力部9から出力されて、フィルタ時定数候補記憶部10に記憶された制御量yの下降時用の第1の時定数T1b及び第2の時定数T2bが出力され、目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性が変更される。以後、制御中はこのような処理が常に行われる。

11

うなフィルタ時定数の変更を制御対象プロセス50にヒステリシスが存在する場合に適用しているが、制御対象プロセス50に非線形性、又は時変性が存在する場合にも適用することができる。

【0035】なお、本実施例のIMCコントローラによ\*

$$y = F_1 \times F_2 \times G_p \times G_c \times r / \{ 1 + F_2 \times G_c \times (G_p - G_m) \} \\ + (1 - F_2 \times G_m \times G_c) \times d / \{ 1 + F_2 \times G_c \times (G_p - G_m) \}$$

… (8)

【0036】すなわち、式(8)に示すように外乱dにかかる右辺第2項  $(1 - F_2 \times G_m \times G_c) \times d / \{ 1 + F_2 \times G_c \times (G_p - G_m) \}$  には目標値・外乱フィルタ部4aの伝達関数F2のみが関係しているので、設計の際は外乱dについては目標値・外乱フィルタ部4aで調整する。また、右辺第1項  $F_1 \times F_2 \times G_p \times G_c \times r / \{ 1 + F_2 \times G_c \times (G_p - G_m) \}$  から、目標値rについては目標値・外乱フィルタ部4aの調整後に目標値フィルタ部2を調整する。つまり、外乱dに対しては伝達関数F2という1次遅れの特性となり、目標値rに対しては伝達関数  $F_1 \times F_2$  という2次遅れの特性となるIMCコントローラとなっている。

【0037】図1の例ではあらかじめ記憶されたフィルタ時定数の候補を制御条件により選択してフィルタ部の特性を変更したが、制御対象プロセスの特性の変化を想定した代表的なフィルタ時定数から制御条件に応じたフィルタ時定数を推定して変更することもできる。図3は本発明の他の実施例を示すIMCコントローラのブロック図であり、図1と同様の部分には同一の符号を付してある。

【0038】19は制御量入力部7から出力された制御量yに基づいて制御条件信号を出力する条件信号入力部、20は制御条件の変化による制御対象プロセス50の特性の変化を想定した代表的なフィルタ時定数を記憶するフィルタ時定数代表記憶部である。また、21はフィルタ時定数推定部であり、条件信号入力部19から出力された制御条件信号とフィルタ時定数代表記憶部20に記憶された代表的なフィルタ時定数に基づいて、制御条件に応じたフィルタ時定数を推定して出力することにより目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性を変更させる。

【0039】本実施例のIMCコントローラは、条件信号入力部19、フィルタ時定数代表記憶部20、及びフィルタ時定数推定部21を除くIMCコントローラ本体の構成が図1の例と同じなので、制御対象プロセス50に制御条件に依存してゲインや時定数が変化する非線形性が存在するときの条件信号入力部19、フィルタ時定数代表記憶部20、及びフィルタ時定数推定部21の動作を説明する。

【0040】まず、条件信号入力部19は、あらかじめ設定された制御量yのフルスケール（以下、FSと略する）に対する制御量入力部7から出力された制御量yの※50

12

\*る制御系は、図7の例の制御系において、フィルタ部42を目標値・外乱フィルタ部4aにし、目標値rに対しても目標値フィルタ部2を追加した制御系に相当するので、式(1)から制御量yは次式となる。

※割合を制御条件とし、これを制御条件信号として出力する。次に、フィルタ時定数代表記憶部20は、この制御条件の変化による制御対象プロセス50の特性の変化を想定して設計された代表的なフィルタ時定数を記憶している。

【0041】ここでは、代表的なフィルタ時定数として例えば制御条件が0%FS、50%FS、100%FS時のフィルタ時定数を記憶しているとし、制御条件0%FS時の第1の時定数T10を10秒、第2の時定数T20を15秒とし、50%FS時の第1の時定数T150を15秒、第2の時定数T250を20秒とし、100%FS時の第1の時定数T1100を17秒、第2の時定数T2100を22秒とする。

【0042】ところで、これらは上記の特定の制御条件に対するフィルタ時定数なので、例えば0~50%FS間の制御条件に対する記憶されていないフィルタ時定数については推定する必要がある。ある制御条件に対するこのようなフィルタ時定数は、このフィルタ時定数が上記の代表的なフィルタ時定数にどれくらい近いかを示す上記の特定の制御条件を中心としたファジィ集合を設定し、ある制御条件がそのファジィ集合に所属する度合い30である適合度を与えるメンバシップ関数を設定することにより、ファジィ推論にて推定される。

【0043】そして、フィルタ時定数推定部21には、このようなファジィ推論のために、フィルタ時定数代表記憶部20に記憶された代表的なフィルタ時定数に対応する特定の制御条件を中心として、すなわち適合度1.0として制御条件の適合度を与えるメンバシップ関数が設定されている。図4はフィルタ時定数推定部21に設定されたメンバシップ関数の1例であり、ここではそれぞれ制御条件0%FS、50%FS、100%FSを適合度1.0とする3つの3角形のメンバシップ関数が設定されている。

【0044】今、制御実行中のある時点において条件信号入力部19から出力された制御条件信号が示す制御条件を30%FSとすると、制御条件30%FSの各ファジィ集合に対する適合度は図4のようになる。つまり、制御条件0%FSを中心とするファジィ集合（以下、制御条件0%FSのファジィ集合と略する）に対する適合度α0は0.4、制御条件50%FSのファジィ集合に対する適合度α50は0.6、100%FSのファジィ集合に対する適合度α100（図示せず）は0である。

13

【0045】そして、フィルタ時定数推定部21は、これらの適合度とフィルタ時定数代表記憶部20に記憶された代表的なフィルタ時定数から制御条件30%FSの\*

$$\begin{aligned} T_{1c} &= T_{10} \times \alpha_0 + T_{150} \times \alpha_{50} + T_{1100} \times \alpha_{100} \\ &= 10 \times 0.4 + 15 \times 0.6 + 17 \times 0 = 13 \text{秒} \quad \cdots (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{2c} &= T_{20} \times \alpha_0 + T_{250} \times \alpha_{50} + T_{2100} \times \alpha_{100} \\ &= 15 \times 0.4 + 20 \times 0.6 + 22 \times 0 = 18 \text{秒} \quad \cdots (10) \end{aligned}$$

【0046】よって、第1の時定数T<sub>1c</sub>、第2の時定数T<sub>2c</sub>がそれぞれ目標値フィルタ部2、目標値・外乱フィルタ部4aに出力されることにより、目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性が変更される。したがって、本実施例のIMCコントローラは、制御条件に応じて目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性を変更するので、フィルタ時定数を必要以上に大きくすることもなく、信頼性の高い制御を行うことができる。なお、本実施例では、制御条件を1種類としているが、ファジィ推論の特徴より制御条件は2種類以上であってもよく、またフィルタ時定数の変更を制御対象プロセス50に非線形性が存在する場合に適用しているが、制御対象プロセス50にヒステリシス、又は時変性が存在する場合にも適用することができる。

【0047】図3の例ではフィルタ時定数の推定をメンバシップ関数が設定されたフィルタ時定数推定部21によって行っているが、このようなメンバシップ関数の設定、追加、削除等には数学的知識を必要とする場合があるので、IMCコントローラのオペレータには調整できないことがある。そこで、フィルタ時定数推定部21の代わりにメンバシップ関数を代表的なフィルタ時定数から自動的に設定する機能を有するフィルタ時定数推定処理部を設けることにより、調整作業によらずにメンバシップ関数の設定を行うことができる。

【0048】本実施例におけるIMCコントローラの構成はフィルタ時定数推定処理部以外は図3の例と全く同様なので、これをフィルタ時定数推定処理部21aとしてその動作を説明する。まず、フィルタ時定数推定処理部21aには、次式のようなメンバシップ関数の一般式が用意されている。

$$\alpha A_{n-1} = (C - A_{n-1}) / (A_n - A_{n-1}) + 1 \quad \cdots (11)$$

$$\alpha A_n = (C - A_n) / (A_n - A_{n-1}) + 1 \quad \cdots (12)$$

$$A_{n-1} \leq C \leq A_n \quad \{ n-1 = 1, 2, \dots \} \quad \cdots (13)$$

【0049】ここで、Cは図3の条件信号入力部19から出力された制御条件信号が示す制御条件、A<sub>n-1</sub>、A<sub>n</sub>はフィルタ時定数代表記憶部20に記憶された代表的なフィルタ時定数の制御条件、αA<sub>n-1</sub>、αA<sub>n</sub>はそれぞれ制御条件A<sub>n-1</sub>、A<sub>n</sub>を中心とするファジィ集合に対する適合度である。

【0050】今、図3の例と同じ代表的なフィルタ時定数

$$\begin{aligned} \alpha A_1 &= \alpha_0 = (C - A_1) / (A_1 - A_0) + 1 \\ &= -C / 50 + 1 \quad \cdots (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha A_2 &= \alpha_{50} = (C - A_2) / (A_2 - A_1) + 1 \\ &= C / 50 \quad \cdots (15) \end{aligned}$$

【0051】また、同様に制御条件50~100%FS間(式(13)において50≤C≤100)の適合度αA<sub>2</sub>、αA<sub>3</sub>は次式となる。

$$\begin{aligned} \alpha A_2 &= \alpha_{50} = (C - A_2) / (A_2 - A_1) + 1 \\ &= -C / 50 + 2 \quad \cdots (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha A_3 &= \alpha_{100} = (C - A_3) / (A_3 - A_2) + 1 \\ &= C / 50 - 1 \quad \cdots (17) \end{aligned}$$

【0052】式(14)は図4における制御条件0%FSのメンバシップ関数を意味しており、式(15)は制御条件50%FSのメンバシップ関数(制御条件50%FS以下の部分)、式(16)は同じくその50%FS以上の部分、式(17)は制御条件100%FSのメンバシップ関数を意味している。これで、図4と同じメンバシップ関数が設定できることになり、あとは図3の例◆50

\*ときのフィルタ時定数、すなわち第1の時定数T<sub>1c</sub>及び第2の時定数T<sub>2c</sub>を次式のように推定する。  
※バシップ関数が設定されたフィルタ時定数推定部21によって行っているが、このようなメンバシップ関数の設定、追加、削除等には数学的知識を必要とする場合があるので、IMCコントローラのオペレータには調整できないことがある。そこで、フィルタ時定数推定部21の代わりにメンバシップ関数を代表的なフィルタ時定数から自動的に設定する機能を有するフィルタ時定数推定処理部を設けることにより、調整作業によらずにメンバシップ関数の設定を行うことができる。

【0048】本実施例におけるIMCコントローラの構成はフィルタ時定数推定処理部以外は図3の例と全く同様なので、これをフィルタ時定数推定処理部21aとしてその動作を説明する。まず、フィルタ時定数推定処理部21aには、次式のようなメンバシップ関数の一般式が用意されている。

★数がフィルタ時定数代表記憶部20に記憶されているとすると、その3種類のフィルタ時定数に対応する制御条件はA<sub>1</sub>=0、A<sub>2</sub>=50、A<sub>3</sub>=100となる。したがって、式(11)、(12)より制御条件0~50%FS間(式(13)において0≤C≤50)の適合度αA<sub>1</sub>、αA<sub>2</sub>は次式となる。

◆と同様にしてフィルタ時定数を推定して変更することができる。

【0053】また、図5はフィルタ時定数推定処理部21aによって設定されたメンバシップ関数の他の例であり、図4の例では制御条件75%FS付近はちょうど2つのメンバシップ関数の谷間にあって推定精度が不十分な場合があるので、制御条件75%FS時の制御対象ア

15

ロセス50の特性を想定したフィルタ時定数をフィルタ時定数代表記憶部20に追加記憶させることによって、メンバシップ関数が図5のように再設定された例である。したがって、本実施例のIMCコントローラは、代表的なフィルタ時定数を設定するだけでフィルタ時定数の推定を行うことができるので、このコントローラのオペレータの調整作業における負担を軽減することができる。

【0054】上記の実施例では制御条件に基づいてフィルタ時定数を推定しているが、制御条件からフィルタ時定数を算出することもできる。図6は本発明の他の実施例を示すIMCコントローラのブロック図であり、図1と同様の部分には同一の符号を付してある。29は制御開始からの経過時間を制御条件信号として出力する条件信号入力部、31は条件信号入力部29から出力された制御条件信号に基づいて制御条件に応じたフィルタ時定\*

$$T_{1d} = 5 \times \sin(\pi \times t / 30) + 10$$

… (18)

$$T_{2d} = 7 \times \sin(\pi \times t / 30) + 15$$

… (19)

【0057】この例では、制御対象プロセス50の特性変化に対してロバスト安定性を確保するために第1の時定数T<sub>1d</sub>及び第2の時定数T<sub>2d</sub>が60分周期で大きくなったり小さくなったりしている。このとき、条件信

号入力部29から出力された制御条件信号が示す経過時間tを250分とすると、経過時間t=250分における第1の時定数T<sub>1d</sub>及び第2の時定数T<sub>2d</sub>はそれぞれ以下に示すように算出される。

$$T_{1d} = 5 \times \sin(250 \times \pi / 30) + 10$$

… (20)

= 14.3秒

$$T_{2d} = 7 \times \sin(250 \times \pi / 30) + 15$$

… (21)

= 21.1秒

【0058】そして、フィルタ時定数算出処理部31から第1の時定数T<sub>1d</sub>、第2の時定数T<sub>2d</sub>がそれぞれ目標値フィルタ部2、目標値・外乱フィルタ部4aに出力されることにより、目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性が変更される。したがって、本実施例のIMCコントローラは、このようなフィルタ時定数の変更により信頼性の高い制御を行うことができ、図3の例のようにフィルタ時定数を推定する実施例と比べてその処理時間が短く、また必要とするメモリ容量を少なくすることができる。

### 【0059】

【発明の効果】本発明によれば、制御対象プロセスの特性が制御条件に依存して変化するときにフィルタ時定数を選択し、又は推定し、又は算出して変更するので、精度と信頼性の高い制御を行うことができる。また、事实上のモデル同定誤差に対応するためにフィルタ時定数を必要以上に大きくすることができなく、安定性を高くする代わりに制御性能を犠牲にすることがないので、IMCコントローラの用途を拡大することができる。また、代表的なフィルタ時定数をこのコントローラに記憶させるだけでファジィ推論におけるメンバシップ関数を設定し、制御条件に応じたフィルタ時定数を推定するので、このコントローラのオペレータの調整作業における負担を軽減することができる。また、制御条件に応じてフィルタ★50

16

\*数を算出して出力することにより、目標値フィルタ部2及び目標値・外乱フィルタ部4aの特性を変更させるフィルタ時定数算出処理部である。

【0055】本実施例のIMCコントローラは、条件信号入力部29、及びフィルタ時定数算出処理部31を除くIMCコントローラ本体の構成が図1の例と同じなので、制御対象プロセス50に時間の経過に依存してゲインや時定数が変化する時変性が存在するときの条件信号入力部29、及びフィルタ時定数算出処理部31の動作を説明する。

【0056】まず、条件信号入力部29は、制御開始からの経過時間tを制御条件とし、これを制御条件信号として出力する。そして、フィルタ時定数算出処理部31は、条件信号入力部29から出力された制御条件信号が示す経過時間tのときの第1の時定数T<sub>1d</sub>及び第2の時定数T<sub>2d</sub>を例えば次式のように算出する。

… (18)

… (19)

※号入力部29から出力された制御条件信号が示す経過時間tを250分とすると、経過時間t=250分における第1の時定数T<sub>1d</sub>及び第2の時定数T<sub>2d</sub>はそれぞれ以下に示すように算出される。

★時定数を算出して変更するので、その処理時間が短く、必要とするメモリ容量を少なくすることができる。また、実用上のほとんどの場合において高級なプロセッサやメモリが不要なので、コストの低減を図ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の1実施例を示すIMCコントローラのブロック図である。

【図2】図1のIMCコントローラを用いた制御系のブロック線図である。

【図3】本発明の他の実施例を示すIMCコントローラのブロック図である。

【図4】図3のフィルタ時定数推定部に設定されたメンバシップ関数の例である。

【図5】フィルタ時定数推定部によって設定されたメンバシップ関数の例である。

【図6】本発明の他の実施例を示すIMCコントローラのブロック図である。

【図7】従来のIMCコントローラを用いた制御系のブロック線図である。

#### 【符号の説明】

- 2 目標値フィルタ部
- 3 第1の減算処理部
- 4 操作量演算部

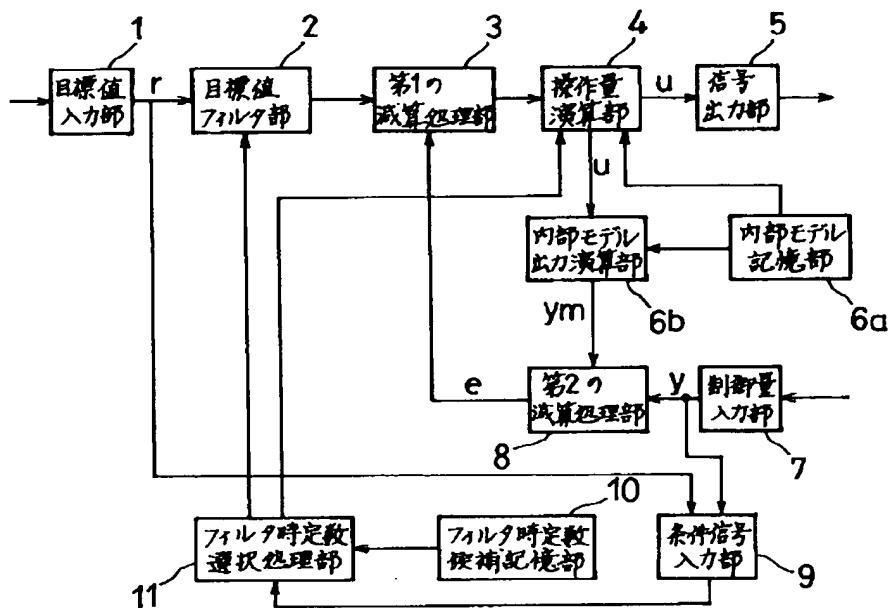
17

4 a 目標値・外乱フィルタ部  
 4 b 操作部  
 6 a 内部モデル記憶部  
 6 b 内部モデル出力演算部  
 8 第2の減算処理部  
 9 条件信号入力部  
 10 フィルタ時定数候補記憶部

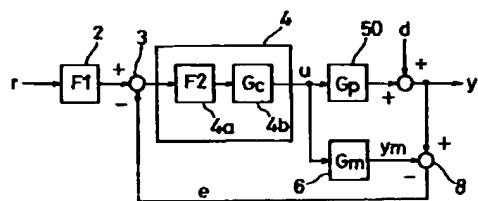
18

11 フィルタ時定数選択処理部  
 19 条件信号入力部  
 20 フィルタ時定数代表記憶部  
 21 フィルタ時定数推定部  
 21 a フィルタ時定数推定処理部  
 29 条件信号入力部  
 31 フィルタ時定数算出処理部

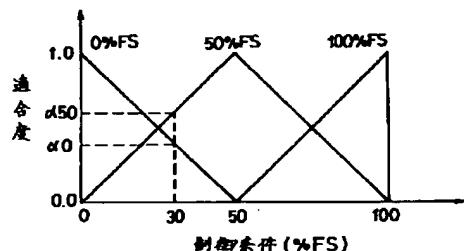
【図1】



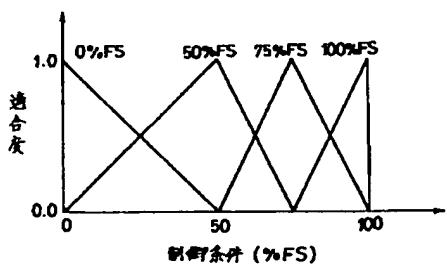
【図2】



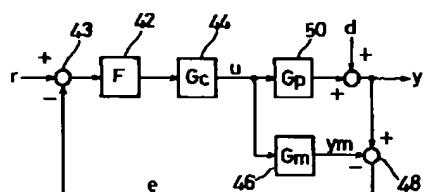
【図4】



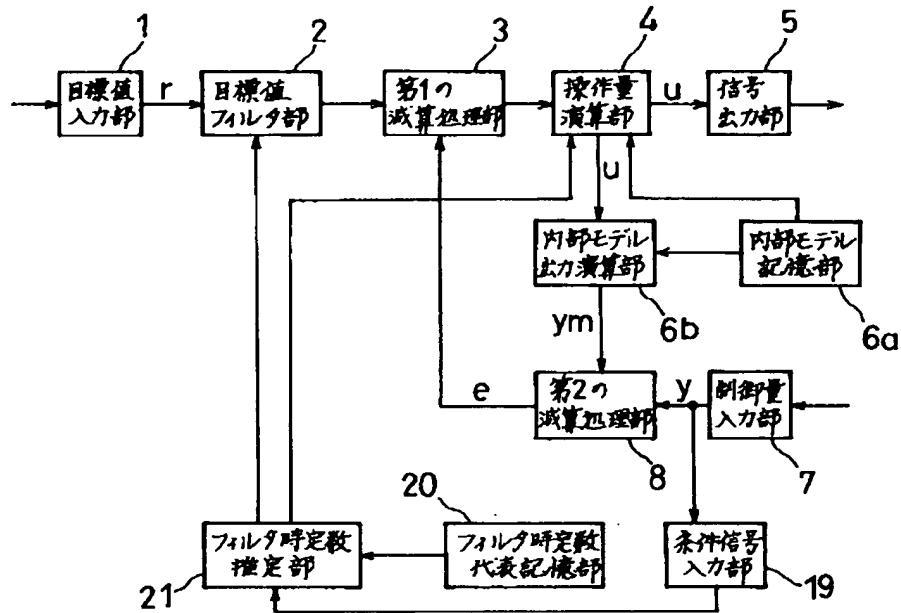
【図5】



【図7】



【図3】



【図6】

